

УДК 681.2.083

С.А. Левицький, аспірант, д.т.н., проф. Шевченко К.Л.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФАЗОВИХ ЗСУВІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ

Анотація. В статті наведено результати аналізу існуючих методів вимірювання параметрів центральної гемодинаміки. На основі аналізу та сучасних вимог до процесу вимірювання параметрів гемодинаміки, запропоновано використання методу фазових зсувів на основі вимірювання торакального електричного біоімпедансу. Показано можливість проведення вимірювання в умовах операційного втручання, а саме при відкритій грудній клітці.

Ключові слова: гемодинаміка, серцевий викид, моніторинг параметрів, торакальний електричний біоімпеданс, метод фазових зсувів.

ВСТУП

Серцевий викид є одним з найважливіших параметрів діагностики функціонування серця. Він дозволяє оцінити роботу серцево-судинної системи, кількість доставленого кисню до органів пацієнта та зрозуміти причини невідповідності кров'яного тиску нормальним значенням. На сьогодні у клінічній практиці розповсюджено велика кількість методів вимірювання параметрів центральної гемодинаміки, в тому числі серцевого викиду, але вони не задовольняють потребам лікарів та не відповідають сучасним тенденціям розвитку медичної техніки. Серцево-судинні захворювання (ССЗ) досі займають найбільший відсоток причин смерті у всьому світі. При розробці запропонованого методу були проведені консультації з провідними українським спеціалістами в області кардіології та сформульовані наступні вимоги до методу. Першою вимогою є те, що метод має бути широкозастосовуваним, що дозволить виявляти ССЗ на ранній стадії та вчасно приймати рішення що до лікування. Наступною, не менш важливою вимогою є можливість тривалого вимірювання серцевого викиду в складних клінічних умовах, таких як операції на серці з відкритою грудною клітиною [1]. При постановці задачі дослідження був проведений аналіз існуючих методів, визначені їх основні переваги та недоліки. При розробці методу було враховано не тільки підвищення точності вимірювання, а й виключення недоліків існуючих методів та відповідність клінічним вимогам.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ

У медичному напрямку методи вимірювання будь-яких параметрів класифікуються за ступеню втручання у організм людини. Інвазивні методи – такі, що передбачають введення в організм людини речовин або інструментів дослідження. Головними небезпеками використання інвазивних методів є потенційна вірогідність появи кровотечі, пошкодження внутрішніх органів та занесення інфекції. У зв'язку з цим, сучасні тенденції медичної техніки рухаються в напрямку заміни інвазивних методів на малоінвазивні та неінвазивні, тобто з мінімальним втручанням в організм, або без втручання

взагалі. Отже було розглянуто існуючі методи вимірювання параметрів центральної гемодинаміки, в тому числі параметру серцевого викиду та визначені їх основні недоліки.

До інвазивних методів відноситься метод термодилуції, з використання катетера Сван-Ганса, що заснований на вимірюванні швидкості розповсюдження болюса у крові. На сьогоднішній день, метод визнаний «золотим стандартом» вимірювання серцевого викиду, незважаючи на те, що метод потребує катеризації легеневої артерії та, як наслідок, підвищує ризик пошкодження клапанів серця [2]. Основним недоліком є дуже високі вимоги до досвіду й навичок лікаря при проведенні вимірювання, що значно впливає як на результат вимірювання так і на ймовірність травмування пацієнта.

В основі малоінвазивних методів лежить принцип визначення різниці концентрації певної речовини в артеріальній та венозній крові. До малоінвазивних методів відносяться класичний метод Фіка, літєва дилуція, PICCO (Pulse Contour Cardiac Output/Серцевий викид заснований на комбінації транспульмональної термодилуції і аналізу форми пульсової хвилі) [3]. Основним недоліком наведених методів є складність вимірювання концентрації кисню артеріальної та змішаної венозної крові, та необхідність встановлення катетерів для введення болюсу та відбору крові.

Найсучаснішими ж є неінвазивні методи вимірювання. Найвідомішим методом є МРТ (Магнітно-резонансна томографія серця), але він має велику кількість недоліків: метод вимагає великої кількості простору для встановлення обладнання, великих енергетичних і тимчасових витрат, високих вимог до кваліфікації медичного персоналу та неможливість тривалого вимірювання. Наступним методом є ЕхоКГ (Ехокардіографія), що потребує введення у стравохід зонду з датчиком Доплера [4]. Недоліками є неможливість проведення тривалого моніторингу у активних пацієнтів, досить високі вимоги до досвіду лікаря, що до позиціонування датчика, дуже висока вартість датчика та обладнання. Іншим за принципом є метод esCCO (Estimated continuous cardiac output), в його основі лежить тривале обчислення параметрів, відштовхуючись від зміни форми та частоти пульсової хвилі, але початково методу необхідна калібровка інвазивним методом [5]. Найбільш перспективними до використання та доробки є методи на основі вимірювання торакального імпедансу грудної клітки - ICG (Impedance cardiography / Імпедансна кардіографія) та ЕС (Electrical cardiometry / Електрична кардіометрія) [6]. Головною перевагою методів на основі біоімпедансу – можливість тривалого вимірювання, незалежність від навичок оператора але недоліками є неточність вимірювання при відкритій грудній клітині та значний вплив м'язових артефактів.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Існуючі на даний момент методи вимірювання параметрів центральної гемодинаміки мають ряд недоліків, які негативно позначаються на точності результату вимірювання та не задовольняють сучасним клінічним вимогам процесу вимірювання.

Пропонується метод фазових зсувів для вимірювання параметрів гемодинаміки, на відміну від існуючих методів визначення торакального біоімпедансу, що засновані на вимірювання амплітуди вимірюваного струму (ICG, EC). Отже основною задачею дослідження є адаптація методу фазових зсувів для задачі вимірювання параметрів гемодинаміки, а також розробка математичної моделі обрахунку серцевого викиду [7]. Також досліджено та запропоновано вирішення задачі корекції вимірюваних параметрів при операціях з відкритою грудною кліткою.

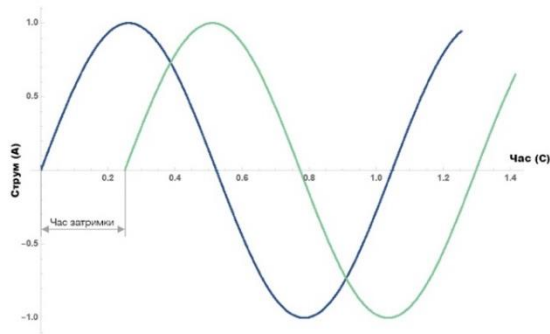


Рис. 1 Графік фазового зсуву згенерованого та вимірюваного струму

В основі методу є припущення, що при пропусканні через грудну клітку низькоамплітудного високочастотного змінного струму, пульсуючий кровоток у великих грудних артеріях викликає затримки часу між згенерованим та виміряним струмом (Рис. 1). На основі цього ефекту можливо побудувати математичну модель залежності фазових зсувів струму, що пропускається через грудну клітку, до значення серцевого викиду.

Оскільки форма кривої змінного струму заснована на тригонометричній синусоїдальній функції, то часова затримка між згенерованою та виміряною кривою може бути представлена у фазі. Визначивши тривалість повного синусоїдного циклу, та враховуючи властивості тригонометричної функції можливо побудувати графік зміни кута зсуву.

На наведеному нижче графіку (Рис. 2) кожна точка – певний зсув у часі. Ми можемо зазначити, що під час систоли спостерігається швидке нарощування фазових зрушень, доки пік не досягне кінця систоли. Це відображає збільшення об'єму крові аорти при викиданні шлуночків. Після піку, під час діастолі ми спостерігаємо зменшення фазового зсуву, що відображає зменшення об'єму крові. Оскільки потік визначається як похідна зміни об'єму, утворений сигнал являє собою єдиний удар.

Серцевий об'єм (SV) вираховується шляхом обчислення площі під позитивною частиною похідної кривої, або частиною графіка що представляє систолу.

При цьому серцевий викид може бути обрахований $CO = SV \cdot HR$, де CO - серцевий викид, SV – серцевий об'єм, HR – частота серцебиття.

Для того, щоб вирішити задачу забезпечення роботи в умовах відкритої грудної клітки пропонується передбачити алгоритм зміни пар електродів згенерованого та вимірюваного струму. При стаціонарному процесі вимірювання струм протікає між верхньою та нижньою парами електродів, що показано на

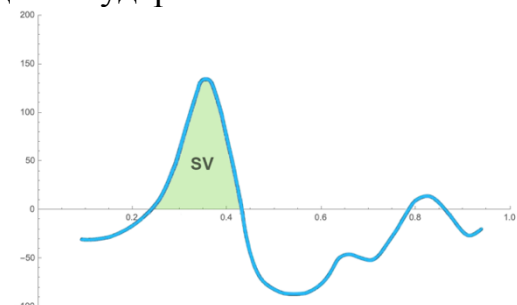


Рис. 2 Графік зміни кута зсуву з визначеною площею серцевого об'єму

Рис 3. Задля корегування математичної моделі розрахунку серцевого викиду, за умови відкритої грудної клітки, пропонується періодично перемикаати подачу та вимір струму на інакшу схему, де струм протікає між лівою та правою парами електродів, що показано на Рис. 4.

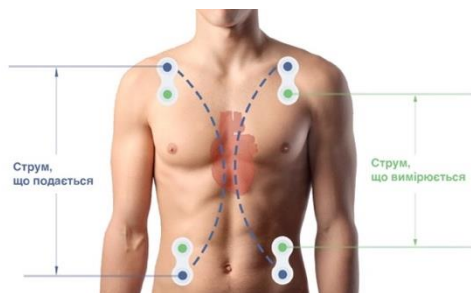


Рис. 3 Схематичне зображення напрямку протікання струму між електродами при стаціонарних умовах

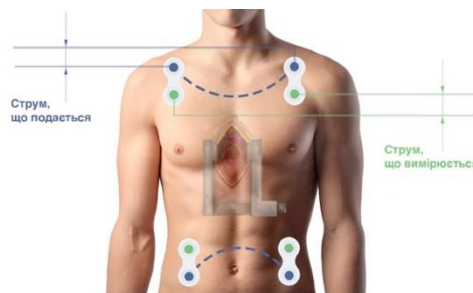


Рис. 4 Схематичне зображення напрямку протікання струму між електродами при умовах відкритої грудної клітки

ВИСНОВКИ

Запропонований метод дозволяє проводити тривале вимірювання параметрів гемодинаміки неінвазивно, що відповідає сучасним клінічним потребам. При цьому особливістю методу є можливість проведення вимірювання в умовах відкритої грудної клітини, за рахунок зміни напрямку поданого та виміряного струму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гемодинамический мониторинг в практике интенсивной терапии критических состояний / Йовенко И.А, Кобеляцкий Ю.Ю, Царев А.В, Кузьмова Е.А. // Медицина неотложных состояний. – 2016. – С. 42–46.
2. Thermodilution method for measuring cardiac output. / Eur Heart J., Conway J, Lund-Johansen P. -1990. – p. 17–20; PMID: 2092986
3. Mehta Y. Newer methods of cardiac output monitoring [Електронний ресурс] / Y. Mehta, D. Arora // Baishideng Publishing Group Inc.. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: doi: 10.4330/wjc.v6.i9.1022.
4. Биотехническая система многоканальных электроимпедансных исследований фазовой структуры деятельности сердца: дис. канд. техн. наук: 05.11.17. – Москва, 2017. – 127 с.
5. Неинвазивный гемодинамический мониторинг escco в ходе анестезиологического пособия при лапароскопической холецистэктомии/ Ю. Ю.Кобеляцкий, А. М. Машин, А. В. Царев, И. А. Йовенко. – 2016. – DOI: 10.22141/2224-0586.5.76.2016.76440.
6. Engoren, M. Comparison of cardiac output determined by bioimpedance, thermodilution, and the Fick method / M. Endoren, D. Barbee // Am. J. Crit. Care. 2005. V. 14. P. 40-45.
7. O'Shea P. Phase Measurement [Електронний ресурс] / Peter O'Shea // CRC Press LLC. –2000.– Режим доступу до ресурсу: http://etc.unitbv.ro/~olteanu/Tehn._Phase_Measurement.pdf.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Шевченко К.Л.